

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

27.10.03

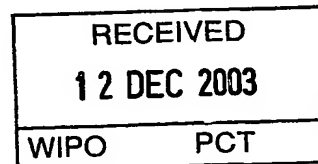
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2002年 9月20日

出 願 番 号
Application Number: 特願2002-275218
[ST. 10/C]: [JP 2002-275218]

出 願 人
Applicant(s): 日本板硝子株式会社
独立行政法人産業技術総合研究所

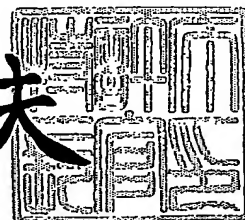


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年11月27日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 02P407

【あて先】 特許庁長官 殿

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人産業
技術総合研究所関西センター内

【氏名】 西井 準治

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人産業
技術総合研究所関西センター内

【氏名】 中澤 達洋

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号 日本板硝子
株式会社内

【氏名】 橘高 重雄

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号 日本板硝子
株式会社内

【氏名】 常友 啓司

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号 日本板硝子
株式会社内

【氏名】 大家 和晃

【特許出願人】

【識別番号】 000004008

【氏名又は名称】 日本板硝子株式会社

【代表者】 出原 洋三

【特許出願人】

【識別番号】 301021533
【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所
【代表者】 吉川 弘之

【代理人】

【識別番号】 100069084
【弁理士】
【氏名又は名称】 大野 精市

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012298
【納付金額】 16,800円

【その他】 国等以外のすべての者の持分の割合 0 8 0 / 1 0 0

国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成 1 4 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構ナノガラス技術プロジェクト委託研究、産業活力再生特別措置法第 3 0 条の適用を受けるもの）。

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9706787

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 回折格子を用いた分光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の波長成分を有するガウシアンビームで近似される光線をコリメートレンズによって略平行光束に変換する光入射部分と、前記平行光束が入射する回折格子と、前記回折格子により波長ごとに分光された平行光束を複数の集光レンズによってそれぞれ集光する光出射部分と、から構成され、以下の関係 (a) ~ (c) を満たすことを特徴とする回折格子を用いた分光装置。

(a) $d \geq A$

ただし、 A は

- ・ $9 \lambda_0 / (\pi \Delta \phi)$
- ・ $3 f \cdot NA$

のうちいずれか大きい値とする。

(b) 回折格子の大きさ：

- ・ 回折格子の溝と垂直な方向： $A / \cos \phi$ 以上
- ・ 回折格子の溝と平行な方向： A 以上

(c) $L \geq D / \Delta \phi$

ただし、分離すべき隣接入射波長を λ_1 および λ_2 とし、その平均波長を λ_0 、波長 λ_1 と λ_2 の入射光に対する回折格子の回折角の角度差を $\Delta \phi$ (単位、ラジアン)、また各光学素子の特性、寸法を、

d ：コリメートレンズおよび集光レンズの有効径

f ：コリメートレンズおよび集光レンズの焦点距離

D ：コリメートレンズおよび集光レンズの物理的外径

L ：回折格子と集光レンズの間隔

ϕ ：回折格子に対する入射光の入射角

NA ：光ファイバの開口数

と定義する。

【請求項 2】

一様な光強度をもつ面光源から出射される、複数の波長成分を有する光線をコリメートレンズによって略平行光束に変換する光入射部分と、前記平行光束が入射する回折格子と、前記回折格子により波長ごとに分光された平行光束を複数の集光レンズによってそれぞれ集光する光出射部分と、から構成され、以下の関係 (a) ~ (d) を満たすことを特徴とする回折格子を用いた分光装置。

(a) $d \geq 2 f \cdot NA$

(b) $f \geq 2 w_1 / \Delta \phi$

(c) 回折格子の大きさ:

- ・ 回折格子の溝と垂直な方向: $2 f \cdot NA / \cos \phi$ 以上
- ・ 回折格子の溝と平行な方向: $2 f \cdot NA$ 以上

(d) $L \geq D / \Delta \phi$

ただし、分離すべき隣接入射波長を λ_1 および λ_2 とし、その入射光に対する回折格子の回折角の角度差を $\Delta \phi$ (単位、ラジアン) とし、各光学素子の特性、寸法を、

d : コリメートレンズおよび集光レンズの有効径

f : コリメートレンズおよび集光レンズの焦点距離

D : コリメートレンズおよび集光レンズの物理的外径

L : 回折格子と集光レンズの間隔

ϕ : 回折格子に対する入射光の入射角

w_1 : 面光源の半径

NA : 面光源の開口数

と定義する。

【請求項 3】

複数の波長成分を有するガウシアンビームで近似される光線をコリメートレンズによって略平行光束に変換する光入射部分と、前記平行光束が入射する回折格子と、前記回折格子により波長ごとに分光された平行光束を共通の集光レンズによってそれぞれ集光する光出射部分と、から構成され、以下の関係 (a) ~ (c) を満たすことを特徴とする回折格子を用いた分光装置。

(a) $d \geq A$

ただし、 A は

$$\begin{aligned} & \cdot 9 \lambda_0 / (\pi \Delta \phi) \\ & \cdot 3 f \cdot NA \end{aligned}$$

のうちいずれか大きい値とする。

(b) 回折格子の大きさ:

$$\begin{aligned} & \cdot \text{回折格子の溝と垂直な方向: } A / \cos \phi \text{ 以上} \\ & \cdot \text{回折格子の溝と平行な方向: } A \text{ 以上} \end{aligned}$$

$$(c) s = f \cdot \Delta \phi$$

ただし、分離すべき隣接入射波長を λ_1 および λ_2 とし、その平均波長を λ_0 、波長 λ_1 と λ_2 の入射光に対する回折格子の回折角の角度差を $\Delta \phi$ (単位、ラジアン)、また各光学素子の特性、寸法を、

d : コリメートレンズおよび集光レンズの有効径

f : コリメートレンズおよび集光レンズの焦点距離

ϕ : 回折格子に対する入射光の入射角

NA : 光ファイバの開口数

s : 光出射部分の隣接集光点の間隔

と定義する。

【請求項 4】

一様な光強度をもつ面光源から出射される、複数の波長成分を有する光線をコリメートレンズによって略平行光束に変換する光入射部分と、前記平行光束が入射する回折格子と、前記回折格子により波長ごとに分光された平行光束を共通の集光レンズによってそれぞれ集光する光出射部分と、から構成され、以下の関係

(a) ~ (d) を満たすことを特徴とする回折格子を用いた分光装置。

$$(a) d \geq 2 f \cdot NA$$

$$(b) f \geq 2 w_1 / \Delta \phi$$

(c) 回折格子の大きさ:

$$\begin{aligned} & \cdot \text{回折格子の溝と垂直な方向: } 2 f \cdot NA / \cos \phi \text{ 以上} \\ & \cdot \text{回折格子の溝と平行な方向: } 2 f \cdot NA \text{ 以上} \end{aligned}$$

$$(d) s = f \cdot \Delta \phi$$

ただし、分離すべき隣接入射波長を λ_1 および λ_2 とし、その入射光に対する回折格子の回折角の角度差を $\Delta\phi$ （単位、ラジアン）とし、各光学素子の特性、寸法を、

w_1 ：面光源の半径

d ：コリメートレンズおよび集光レンズの有効径

f ：コリメートレンズおよび集光レンズの焦点距離

NA：面光源の開口数

ϕ ：回折格子に対する入射光の入射角

s ：光出射部分の隣接集光点の間隔

と定義する。

【請求項 5】

前記コリメートレンズおよび集光レンズは、半径方向に屈折率分布を有するロッドレンズであることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項に記載の回折格子を用いた分光装置。

【請求項 6】

前記回折格子は基板表面に平行な凹凸溝を有し、その溝に垂直な断面の形状が略矩形状であることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項に記載の回折格子を用いた分光装置。

【請求項 7】

前記回折格子は多層膜層に平行な溝を形成し、その溝に垂直な断面の形状が略矩形である 2 次元フォトリソニック結晶であることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項に記載の回折格子を用いた分光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信システム、あるいは光ディスク用ピックアップ装置などに用いられる、波長の異なる光を分離する分光装置に関し、とくに回折格子を用いた分光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、インターネットの急速な普及により、光ファイバ通信網の情報伝送容量の増大が強く求められており、その手段として波長多重（WDM）方式の開発が急速に進められている。WDM方式の光通信においては、わずかな波長差の光が個別の情報を伝達することから、波長選択性の良い光分波器、フィルタ、アイソレータといった光学機能素子が必要である。上記機能素子においては、量産性、小型化、集積化、安定性などが強く求められていることは言うまでもない。

【0003】

波長多重光通信のように人為的に複数の波長が多重化された光信号を分波・検出する目的や、分光測定のように被測定光のスペクトル解析等の目的、あるいは複数波長の光源を利用する光ディスクシステムなどにおいて、分光装置が用いられる。この分光装置には、プリズム、波長フィルタ、回折格子等の分光素子が必要である。

【0004】

とくに回折格子は代表的な分光素子であり、石英やシリコン基板などの表面に周期的なブレード状の微細凹凸構造を形成したものが用いられている。その周期的凹凸構造によって発生する回折光が互いに干渉し、ある特定波長の光が特定の方向に出射され、この特性が分波素子として利用されている（例えば、特許文献1参照）。

【0005】**【特許文献1】**

特開平10-300976号公報

【0006】**【発明が解決しようとする課題】**

回折格子による波長分解力は、回折光の次数と格子数の積に比例することは良く知られている。実際の分光素子において有効であるのは、光束が通過する範囲の回折格子の周期数であるから、分解力を向上させるためには光束の直径を大きくする必要がある。光束の直径を大きくするためには、それに伴って光学系に必要な部品も大きくしなければならない。

【0007】

しかし、回折格子やレンズ等の光学部品を大きくすることはコストの上昇につながるばかりではなく、レンズの場合は光束が太くなりレンズ径が大きくなると収差が増大する傾向があるので、収差補正の手段が必要となる。また、分光装置としての小型化に反することは言うまでもない。

【0008】

また、分光を目的とする回折格子としては、断面形状が三角形のブレース格子が使用されることが多い。ブレース格子には図11(a)および図11(b)に示すように透過型と反射型がある。反射型は透過型よりも高い回折効率が得られるので、通常は反射型が用いられているが、表面を反射面に加工する必要がある。いずれの方式にしても、格子周期と波長が接近してくると偏光方向（TE偏光、TM偏光）による効率の差などが生じるので、高い回折効率を得るためにはブレース形状などの精密な設計と高度な加工技術が必要になる。

【0009】

本発明はこのような従来の回折格子を用いた分光装置の問題点を解決するためになされたもので、波長分解力が高く、且つ小型化が可能な分光装置を提供することを目的とする。またこのような分光装置に適用でき、且つ製作が容易な回折格子を提供することをも目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明の回折格子を用いた分光装置の第1の態様は、複数の波長成分を有するガウシアンビームで近似される光線をコリメートレンズによって略平行光束に変換する光入射部分と、その平行光束が入射する回折格子と、この回折格子により波長ごとに分光された平行光束を複数の集光レンズによってそれぞれ集光する光出射部分と、から構成される。そして以下の関係(a)～(c)を満たすことが特徴である。ここで、分離すべき隣接入射波長を λ_1 および λ_2 とし、その平均波長を λ_0 ($= (\lambda_1 + \lambda_2) / 2$)、波長 λ_1 と λ_2 の入射光に対する回折格子の回折角の角度差を $\Delta\psi$ (単位、ラジアン) とする。

【0011】

(a) コリメートレンズおよび集光レンズの有効径 d はつぎの条件を満たす。

$$d \geq A$$

ただし、 A は、 $9 \lambda_0 / (\pi \Delta \phi)$ または $3 f \cdot NA$ のいずれか大きい値とする。

ここで、 NA は光ファイバの開口数 (ガウシアンビームの強度が中心の $1/e^2$ となる遠視野広がり角により定義する)、 f はコリメートレンズおよび集光レンズの焦点距離である。

【0012】

(b) 回折格子 (略矩形もしくは楕円形状とする) の大きさは次の条件を満たす。

ただし ϕ は回折格子に対する入射光の入射角である。

- ・ 回折格子の溝と垂直な方向: $A / \cos \phi$ 以上
- ・ 回折格子の溝と平行な方向: A 以上

【0013】

(c) 回折格子と集光レンズの間隔 L の比は次の条件を満たす。

ただし、 D はコリメートレンズおよび集光レンズの物理的外径である。

$$L \geq D / \Delta \phi$$

【0014】

入射光として単一モード光ファイバからの出射光などガウシアンビームと見なせる光束を使用し、分波された光束をそれぞれ別個の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が定まっているとき、レンズの寸法と光学系の配置を上記関係を満たすように決定することにより、分光装置の寸法を最小化することができる。

【0015】

本発明の回折格子を用いた分光装置の第2の態様は、一様な光強度をもつ面光源から出射される複数の波長成分を有する光線をコリメートレンズによって略平行光束に変換する光入射部分と、その平行光束が入射する回折格子と、この回折格子により波長ごとに分光された平行光束を複数の集光レンズによってそれぞれ集光する光出射部分と、から構成される。そして以下の関係 (a) ~ (d) を満たすことが特徴である。ここで、分離すべき隣接入射波長を λ_1 および λ_2 とし、

その波長の入射光に対する回折格子の回折角の角度差を $\Delta \psi$ (単位、ラジアン) とする。

【0016】

(a) コリメートレンズおよび集光レンズの有効径 d はつぎの条件を満たす。ただし、 f はコリメートレンズおよび集光レンズの焦点距離、 NA は面光源の開口数である。

$$d \geq 2 f \cdot NA$$

【0017】

(b) コリメートレンズおよび集光レンズの焦点距離 f が次の条件を満たす。ただし、 w_1 は面光源の半径である。

$$f \geq 2 w_1 / \Delta \psi$$

【0018】

(c) 回折格子(略矩形もしくは楕円形状とする)の大きさは次の条件を満たす。ただし ϕ は回折格子に対する入射光の入射角である。

- ・ 回折格子の溝と垂直な方向： $2 f \cdot NA / \cos \phi$ 以上
- ・ 回折格子の溝と平行な方向： $2 f \cdot NA$ 以上

【0019】

(d) 回折格子と集光レンズの間隔 L は次の条件を満たす。ただし、 D はコリメートレンズおよび集光レンズの物理的半径である。

$$L \geq D / \Delta \psi$$

【0020】

入射光として多モード光ファイバ端面など点光源の集合した面光源と見なせる光源からの出射光束を使用し、分波された光束をそれぞれ別個の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が決まっているとき、レンズと面光源の寸法、特性および光学系の配置を上記関係を満たすように決定することにより、分光装置の寸法を最小化することができる。

【0021】

本発明の回折格子を用いた分光装置の第3の態様は、複数の波長成分を有する

ガウシアンビームで近似される光線をコリメートレンズによって略平行光束に変換する光入射部分と、その平行光束が入射する回折格子と、この回折格子により波長ごとに分光された平行光束を共通の集光レンズによってそれぞれ集光する光出射部分と、から構成される。そして以下の関係 (a) ~ (c) を満たすことが特徴である。ただし、 λ_0 と $\Delta\psi$ の意味するところは第 1 の態様の場合と同様である。

【0022】

(a) コリメートレンズおよび集光レンズの有効径 d は第 1 の態様と同様の条件を満たす。

(b) 回折格子(略矩形もしくは楕円形状とする)の大きさは第 1 の態様と同様の条件を満たす。

(c) 光出射部分の隣接集光点の間隔 s は次の関係を満たす。

$$s = f \cdot \Delta\psi$$

【0023】

入射光として単一モード光ファイバからの出射光などガウシアンビームと見なせる光束を使用し、分波された光束を共通の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が定まっているとき、レンズの寸法、特性と光学系の配置を上記関係を満たすように決定することにより、分光装置の寸法を最小化することができる。

【0024】

本発明の回折格子を用いた分光装置の第 4 の態様は、一様な光強度をもつ面光源から出射される、複数の波長成分を有する光線をコリメートレンズによって略平行光束に変換する光入射部分と、その平行光束が入射する回折格子と、この回折格子により波長ごとに分光された平行光束を共通の集光レンズによってそれぞれ集光する光出射部分と、から構成される。そして以下の関係 (a) ~ (d) を満たすことが特徴である。ただし、 $\Delta\psi$ の意味するところは第 2 の態様の場合と同様である。

【0025】

(a) 対物レンズおよびコリメートレンズの有効径 d は第 2 の態様と同様の関係

を満たす。

(b) コリメートレンズおよび集光レンズの焦点距離 f は第 2 の態様と同様の条件を満たす。

(c) 回折格子(略矩形もしくは楕円形状とする)の大きさは第 2 の態様と同様の条件を満たす。

(d) 光出射部分の隣接集光点の間隔 s は次の関係を満たす。

$$s = f \cdot \Delta \phi$$

【0026】

入射光として多モード光ファイバ端面など点光源の集合した面光源と見なせる光源からの出射光束を使用し、分波された光束を共通の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が定まっているとき、レンズの寸法、特性と光学系の配置を上記関係を満たすように決定することにより、分光装置の寸法を最小化することができる。

【0027】

さらに上記第 1～第 4 の態様において、コリメートレンズおよび集光レンズは、半径方向に屈折率分布を有するロッドレンズであることが望ましい。光入射部あるいは光出射部に光ファイバを使用する場合、ロッド状のレンズは形状的に整合性がよく、組立調芯を容易にすることができる。

【0028】

また回折格子は基板表面に平行な凹凸溝を有し、その溝に垂直な断面の形状が略矩形状であることが望ましく、多層膜層に平行な溝を形成し、その溝に垂直な断面の形状が略矩形状である 2 次元フォトニック結晶であればより好ましい。このような溝形状は精度よく作製することができ、且つ高い回折効率を得ることができる。

【0029】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について具体的に説明する。

【0030】

(第 1 の実施形態)

図1は、本発明の分光装置の基本構成を模式的に示したものである。使用する光ファイバは単一モードファイバ（偏波面保存ファイバを含む）であり、開口数はNAであるとする。ただし、NAはガウシアンビームの強度が中心の $1/e^2$ となる遠視野広がり角により定義する。光入射側の光ファイバ1の端面にはコリメートレンズ2が配置されて分光装置の光入射部を形成している。

【0031】

光ファイバ1の端面から出射される光束はガウシアンビームとみなせ、広がり角の大きく、複数の波長成分を含んでいる。この光束を広がり角が小さく光束の太いガウシアンビーム7に変換して、回折格子4に入射させる。回折格子4により、入射光束は波長成分ごとに方向の異なる光束となり、それぞれが集光レンズ5により集光されて、出射側の光ファイバ6に結合する。複数の集光レンズ5と出射側の光ファイバ6が分光装置の光出射部を構成する。

【0032】

ここで、分光装置が分離すべき入射波長を λ_1 、 λ_2 とし、その平均波長を λ_0 （ $= (\lambda_1 + \lambda_2) / 2$ ）とする。このとき、回折格子4により波長 λ_1 と λ_2 の光束が回折される角度の差を、 $\Delta\psi$ （単位はラジアン）とする（図2参照）。

【0033】

集光レンズ5およびコリメートレンズ2は大きさの等しい屈折率分布型ロッドレンズとし、その有効径をd、物理的な外径をDとする。また、回折格子と集光レンズの間隔をLとする。

【0034】

さらに入射光束のビームウエスト半径は w_0 であるとする。光束はガウシアンビームなので、厳密にはその半径は位置によって変化するが、ビームウエスト半径 w_0 は十分に大きく、コリメートレンズから対物レンズまでの光束半径（ガウシアンビームの光強度が光軸位置の $1/e^2$ となる半径）は w_0 に等しい一定値であるとみなす。

【0035】

ビームウエスト半径が w_0 である光束の、遠視野における広がり角 θ_0 は、以下の式で表わされる。

$$\tan \theta_0 = \lambda_0 / (\pi w_0)$$

ただし、 θ_0 は微小角なので

$$\theta_0 = \lambda_0 / (\pi w_0) \quad (1)$$

としても差し支えない。

【0 0 3 6】

波長 λ_1 、 λ_2 に対する回折角の角度差が $\Delta \psi$ なので、波長 λ_1 の光束と波長 λ_2 の光束を明確に分離するには、

$$\Delta \psi \geq 3 \theta_0 \quad (2)$$

であることが望ましい。(1)、(2)式より、

$$w_0 \geq 3 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi) \quad (3)$$

の関係が得られる。

【0 0 3 7】

一方、ビームウエスト半径 w_0 に対して、光束のケラレを充分小さくするには、レンズの有効径 d および回折格子の大きさ G_0 はともに $3 w_0$ 以上必要である。したがって、(3)式より、

$$d \geq 9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi) \quad (4)$$

$$G_0 \geq 9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi) \quad (5)$$

が得られる。

【0 0 3 8】

ところで、光ファイバの開口数 NA とレンズの焦点距離 f より、光ファイバから出射されるガウシアンビームを少ない損失で取り込むためには、レンズの有効径として

$$3 f \cdot NA \quad (6)$$

が必要である。従って、(4)、(5)、(6)式より最小限必要なレンズ有効径および回折格子の大きさは、

$$d \geq A$$

$$G_0 \geq A$$

ただし、 A は

$$9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi)$$

$$3 f \cdot NA$$

のうちの大きい値とする。

ただし、上記の式は光束が回折格子面に垂直入射する場合に相当しているので、入射角が ϕ である場合には、

$$G \geq G_0 / \cos \phi$$

が回折格子の最小限の大きさを与える。

【0039】

回折格子と集光レンズの間隔である L の満たすべき条件は、分解すべき波長 λ_1 と λ_2 の光束が集光レンズの物理的外径 D より隔たっている必要があることであり、図 2 から明らかなように、

$$L \tan \Delta \phi \geq D$$

となる。 $\Delta \phi$ も微小角なので、

$$L \geq D / \Delta \phi$$

が条件となる。すなわち、 L の最小値が得られる。

【0040】

以上の結果をまとめると、単一モード光ファイバの場合、すなわち入射光束がガウシアンビームと見なせ、かつ λ_0 と $\Delta \phi$ が定まっている場合、各光学素子と光学系全体の最低限必要な大きさは、つぎのようになる。

【0041】

(a) レンズの有効径 d の最小値: A

ただし、 A は

$$9 \lambda_0 / (\pi \Delta \phi)$$

$$3 f \cdot NA$$

のうちの大きい値である。レンズの焦点距離が自由に選択できるのであれば、両者が等しくなる場合、すなわち

$$f = 3 \lambda_0 / (\pi \Delta \phi \cdot NA)$$

とすればよい。

(b) 回折格子(矩形あるいは楕円状とする)の大きさの最小値:

・ 回折格子の溝と垂直な方向: $A / \cos \phi$

・回折格子の溝と平行な方向：A

(c) 回折格子と集光レンズの距離Lの最小値： $D/\Delta\psi$

(d) コリメートレンズと回折格子の間隔には制限がない(短いほどよい)。

(e) レンズの物理的外径Dの最小値はレンズの有効径dである。

【0042】

(第2の実施形態)

図1と同様な光学系の構成で、光ファイバ1が多モードファイバである場合は、その出射光は均一な光強度をもつ面光源からの出射光とみなせる。その場合の条件について以下に記す。

【0043】

光ファイバ1のコア半径(すなわち面光源の大きさ)を w_1 、光ファイバ1の開口数をNA、レンズの焦点距離をfとすると、コリメートされた光束7の広がり角 θ_1 (半角)は、以下の式で表わされる。

$$\tan \theta_1 = w_1 / f$$

ただし、 θ_1 は微小角なので

$$\theta_1 = w_1 / f \quad (7)$$

としても差し支えない。

【0044】

波長 λ_1 と λ_2 の光束が回折される角度の差が $\Delta\psi$ であるから、波長 λ_1 の光束と波長 λ_2 の光束を明確に分離するには、

$$\Delta\psi \geq 2\theta_1 \quad (8)$$

であることが望ましい。したがって(7)、(8)式より、

$$\Delta\psi \geq 2w_1 / f$$

が得られ、レンズ2の焦点距離fは、

$$f \geq 2w_1 / \Delta\psi \quad (9)$$

の条件を満たすことが必要となる。

【0045】

レンズ2の有効径dと回折格子4の大きさ G_0 は、光束7の直径以上必要である。この場合の光束の半径は $f \cdot NA$ で表わされるから、

$$d \geq 2 f \cdot NA \quad (10)$$

$$G_0 \geq 2 f \cdot NA \quad (11)$$

が得られ、レンズの有効径 2 と回折格子 4 の大きさの最小値が明らかとなる。ただし、(11) 式は光束 7 が回折格子面に垂直入射する場合に相当するので、入射角が ϕ である場合には

$$G \geq G_0 / \cos \phi$$

が回折格子の最小限の大きさを与える。

【0046】

回折格子 4 と集光レンズ 5 の間隔である L の満たすべき条件は、第 1 の実施形態の場合と同様であり、

$$L \tan \Delta \phi \geq D$$

となる。 $\Delta \phi$ は微小角なので、

$$L \geq D / \Delta \phi$$

が条件となる。

【0047】

以上の結果をまとめると、多モード光ファイバを用いる場合、各光学素子と光学系全体の最低限必要な大きさは、

- (a) レンズの有効径 d の最小値: $2 f \cdot NA$
- (b) レンズの焦点距離 f の最小値: $2 w_1 / \Delta \phi$
- (c) 回折格子(矩形もしくは楕円状とする)の大きさの最小値:
 - ・ 回折格子の溝と垂直な方向: $2 f \cdot NA / \cos \phi$
 - ・ 回折格子の溝と平行な方向: $2 f \cdot NA$
- (d) 回折格子と集光レンズの距離 L の最小値: $D / \Delta \phi$
- (e) コリメートレンズと回折格子の間隔には制限がない(短いほどよい)。
- (f) レンズの物理的外径 D の最小値はレンズの有効径 d である。

【0048】

(第 3 の実施形態)

また本発明においては、図 3 に示すように集光レンズ 15 を各分波光に対して共通とし、その出射側端面に複数の光ファイバ 16 を並べる構成も可能である。

【0049】

この場合には、単一モード光ファイバ、多モード光ファイバを用いた場合とも、第1、第2の実施形態における(d), (e)の条件は不要である。その代わりに、隣接する集光点の間隔、すなわち出射側光ファイバの光軸間隔をs、レンズの焦点距離をfとして、

$$s = f \cdot \Delta \phi$$

の条件が必要である。光ファイバを並べて保持するには、複数光ファイバ用のフェルールを用いたり、V溝アレイに光ファイバを並べるといった方法が知られており、容易に実現できる。

【0050】

本発明におけるコリメートレンズおよび集光レンズとしては、屈折率分布型レンズを用いた。このレンズは、通常、均質ガラスロッドのイオン交換により外径2mm以下の小径で高性能なレンズを安価に量産することができる。また、このレンズはロッド状であるので光ファイバとの結合と光軸調整が容易であるので、本発明の分光装置にこれを用いることが望ましい。

【0051】

しかし、均質ガラスあるいはプラスチックを材料とした球面レンズを複数枚組合わせたレンズ系、非球面レンズ、球レンズ等を使用することもできる。

【0052】

コリメートレンズと集光レンズは上記のように同一種類で同等の形状、特性をもつものを用いるのが光学的にも、また製造上の便宜からも望ましい。しかし上記の各条件を満たしていれば、異なるレンズを使用して光学系を構成することは可能である。例えば、コリメートレンズと集光レンズの物理的外径が異なっても上記条件を満たす限り、差し支えない。

【0053】

さらに、本発明では図4に示すような溝の断面形状が矩形状である回折格子11を用いることができる(以下、深溝型と呼ぶ)。図4は透過型の例を示しており、2つの波長を含む平行光束8を入射すると角度の異なる分波された光束9、10が出射される。深溝型は、溝幅とアスペクト比(溝の深さと幅の比)を最適化

すると、広い波長域にわたって理論的に100%に近い回折効率が得られ、また偏光方向（TE偏光、TM偏光）による効率の差もほとんどないことが知られている（小山次郎、西原浩著「光波電子光学」第4章、コロナ社、1978年、参照）。

【0054】

深溝型回折子による1次光の回折効率を、以下の条件で計算した。

基板材料：石英（屈折率1.46）

溝周期：1400nm

溝幅：530nm

溝深さ：3200nm

入射角度：31°

計算にはRCWA（Rigorous Coupled Wave Analysis）法によるプログラム（Grating Solver Development社製GSOLVER ver4.20b）を使用した。結果を図5に示す。

【0055】

図5より、1300nm～1600nmの非常に広い波長域にわたってTE偏光、TM偏光共に89%以上の高い回折効率が確保されていることがわかる。

【0056】

また偏光依存損失（Polarization Dependent Loss, PDL）についても計算により評価した。PDLはTMおよびTE偏光の効率の差により発生し、下式で表される。

$$PDL=10 \times \log_{10} (\text{TM偏光回折効率} / \text{TE偏光回折効率})$$

図6に計算結果を示した。図よりPDLは上記波長帯域にわたって0.23dB以下となっていることがわかる。

【0057】

例えば応用分野を光通信に向けると光ファイバより導かれる光はファイバの状態によって様々な偏光状態にあり、現実的にその偏光状態を予測することは困難である。そのため偏波方向を制御する部品をシステムに付加しなければならず、それは当然コスト上昇につながる。本発明において回折格子に深溝型を用いるこ

とにより、上記のように偏波による損失を抑えることができ、システム構築に非常に有利であることがわかる。

【0058】

従来、アスペクト比の大きい矩形状溝の加工は困難であったが、最近のエッチング技術の向上により精度の良いものが作製できるようになってきている。本発明では、回折効率が高いことが望ましいので、深溝型の回折格子を用いるのが望ましい。

【0059】

また、回折格子を形成する基板材料を工夫することで、高アスペクト比加工の負担を軽減させることができる。具体的には基板材料としてより高屈折率の材料を用いることで比較的低いアスペクト比であっても同等の特性を得ることができる。高屈折率材料としてはシリコンの他に、酸化チタンや酸化タンタルといった金属酸化物、あるいは窒化シリコン等が挙げられる。

【0060】

さらに図7に示すように、基板上に周期構造多層膜18を形成してから、多層膜部分にエッチングを施して、いわゆる2次元フォトニック結晶構造とすることもできる。これによってもアスペクト比の低減が可能である。

【0061】

いずれにしても、使用目的によって回折格子の材料は適宜選定されるべきである。材料は使用波長域における透明性が確保できることを前提として特に限定はないが、例えば紫外光レーザーによるパルス波のような高エネルギー照射に用いる場合には高エネルギー耐性をもつ石英が望ましいし、そのような過酷な条件下で使用されないならば高屈折率材料を用いることで加工プロセスの負荷を軽減させることも可能である。

【0062】

一般的に深溝格子の形成にはフォトリソグラフィーによるパターンニングと気相エッチングによる溝加工を用いる。作製手順を図8を参照して詳細を説明する。石英基板13上にフォトレジスト12をスピンコートした後、露光により所望の周期のラインパターンを形成させる（工程A）。

【0063】

このときの光源は当然フォトリジストの感光波長を有するもので、例えばg線、i線ランプのような紫外光を用いたマスク露光や、He-Cdレーザのような紫外光レーザを用いた直接描画またはマスク露光、2光束干渉露光、電子線を用いた直接描画等がある。コストとパターンの周期幅を考慮して使い分けることが好ましい。

【0064】

次にレジストパターン上に金属膜14を成膜する(工程B)。成膜手法はスパッタや真空蒸着等を用いることができ、金属膜もクロムやニッケル等を用いることができる。特に、後述する工程Cにおいてリフトオフを用いる場合には、フォトリジストの損傷やパターンニング精度の向上の観点から真空蒸着を用いることが望ましい。

【0065】

リフトオフ法により不要な金属膜をレジストパターンとともに除去することで金属マスクパターンが形成される(工程C)。工程AとBとを入れ替えてエッチングにより金属マスクのパターンを形成させる手法も当然可能であるが、本発明者らが検討した結果、高アスペクト比の加工にはリフトオフによる厚膜金属マスクがより好適であることがわかった。

【0066】

次にイオンエッチング装置を用いて垂直深溝17の加工を行う(D工程)。エッチング装置は被加工材料に適したものを選択すべきであるが、大面積を能率良く加工するには誘導結合プラズマ(ICP)や磁気中性線放電(NLD)のような高密度プラズマによる反応性イオンエッチングを用いることが望ましい。残存する金属マスクは腐食液等で除去すればよい。

【0067】

本発明による分光装置は、光線の向きを逆とすれば複数波長の光を単一の光ファイバに送りこむ合波装置として使用できることは、言うまでもない。

【0068】

本発明による分光装置は、情報通信分野における、波長多重(WDM)通信に

使用することができる。なかでもメトロネットワークに導入される多重波長間隔が比較的広い低密度波長多重（CWDM）通信では部品の低コスト化が重要である。本発明の分光装置はコンパクト化、低コスト化が可能であり、このようなシステムへの導入に非常に好適である。

【0069】

一方、光記録分野では近年DVDをはじめとして、大容量化を目指した記録デバイスの開発が進められている。このような記録情報の大容量化にともない記録・読み出し速度の高速化が求められることは明らかである。

【0070】

そのひとつとして多波長による同時記録・読み出しが挙げられる。これは複数の波長を多重した光を光ヘッドへと導きそこで分波することで複数波長の光による書き込みあるいは読み込みを行ない、情報の平行処理を可能とするシステムである。この場合ヘッド材料はディスクの上を走査させることを考えれば小型であることが必須であり、本発明はこのようなシステムへの組み込みに好適である。

【0071】

本発明が応用できる波長域は、光学素子の透過率さえ確保できるのであれば特に制限はないが、光通信用としては1000～1600nm、光ディスク用であれば200～800nmといった波長域で 사용할 ことができる。

【0072】

上記の実施形態ではいずれも光入射部、光出射部に光ファイバとレンズの組合せを用いているが、これには限定されない。平板光導波路を光ファイバの代わりに使用してもよい。また光入射部には多波長光源の光をコリメートレンズを介して使用してもよい。光出射部には受光素子を設けて、波長ごとの光強度を測定するモニターとすることもできる。

【0073】

〔実施例1〕

本発明の分光装置の実際の構成例を図9に示す。これは上記、第2の実施形態に相当するものである。

【0074】

入射側及び出射側の光ファイバ 21、26 は、可視光波長域用の屈折率分布型多モード光ファイバ（コア径／クラッド径＝100／140 μm 、NA＝0.29、コーニング社製）である。コリメートレンズ 22 と集光レンズ 25 は、日本板硝子社製の屈折率分布型ロッドレンズ（外径 1.8 mm、焦点距離 1.84 mm）で、光ファイバ先端に固定して使用する。これらのレンズの外側はステンレス製の鞘におおわれているので、外径 D は 2.4 mm である。

【0075】

回折格子 24 は、厚さ 1 mm の合成石英板の片側に、エッチングにより図 4 に示すような深溝形状を 3 × 3 mm の面積に形成したものである。溝の周期は 600 nm、溝幅は 330 nm、溝の深さは 1100 nm である。

【0076】

エッチングの手順を以下説明する。石英基板上に電子線レジストをスピンコートした後、電子線描画により周期 600 nm のラインパターンを形成させる。リフトオフ法によりレジストパターンを金属マスクに転写した後、反応性イオンエッチングを用いて深さ 1100 nm までエッチングを行う。断面形状を走査型電子線顕微鏡（SEM）にて確認した。図 10 に SEM による写真を示す。ほぼ設計通りの構造を得られていることがわかる。

【0077】

入射側光ファイバ 11 には、波長 $\lambda_1 = 635 \text{ nm}$ と $\lambda_2 = 532 \text{ nm}$ の半導体レーザ光を合波して送り込んだ。コリメートレンズ 12 からの光束を、コリメートレンズから 1.1 mm 離して設置した回折格子 24 に、入射角 29° で入射した。回折格子 24 による 1 次光の出射角は、波長 λ_1 と λ_2 に対してそれぞれ 35.0° 、 23.7° であった。

【0078】

回折格子 24 から距離 $L = 1.4 \text{ mm}$ 離れたところに出射側の集光レンズ 25-1、25-2 を並べて、それぞれの波長の光束を取り込み、光ファイバ 26-1、26-2 に結合した。集光レンズの間隔（光軸の間隔）は 2.8 mm である。これらの光学系を金属製の筐体 19 に組み込んだ。筐体 19 は $30 \times 17 \text{ mm}$ と小型化されている。

【0079】

本実施例における回折格子による1次光の回折効率を、入射光の偏光の向きを変えて測定した結果は、表1に示す通りである。

【表1】

偏光の向き	波長	
	λ_1	λ_2
0° (TE偏光)	83%	76%
45°	79%	83%
90° (TM偏光)	74%	89%

1次光の回折効率が非常に高く、偏光による差が小さいことが示されている。

【0080】

[実施例2]

実施例1では、第2の実施形態の条件を満たしているが、レンズはさらに小型化する余地がある。以下は、実施例1と同じ光ファイバと回折格子を用いて、レンズを最小限まで小型化した設計例である。

【0081】

入射側及び出射側は光ファイバには、 $NA=0.29$ 、コア半径 $w_1=0.05\text{ mm}$ の多モード光ファイバを使用し、分離すべき波長は、 $\lambda_1=635\text{ nm}$ と $\lambda_2=532\text{ nm}$ であり（平均波長 $\lambda_0=583.5\text{ }\mu\text{m}$ ）、 $\Delta\phi=11.3^\circ$ である。

【0082】

このとき、レンズの焦点距離 f の最小値は、

$$2w_1/\Delta\phi=0.507\text{ mm}$$

となり、レンズの有効径 d の最小値は、

$$2f \cdot NA=0.294\text{ mm}$$

となる。回折格子の最低限必要な大きさは、入射角 $\phi=29^\circ$ とすると、

$$\cdot \text{溝と垂直な方向: } 0.294/\cos\phi = 0.336\text{ mm}$$

$$\cdot \text{溝と平行な方向: } 0.294\text{ mm}$$

となる。集光レンズの外径 D を有効径よりもひとまわり大きい 0.3 mm とすると、回折格子と集光レンズの間隔 L は

$$D/\Delta\phi = 1.52\text{ mm}$$

が最小となる。

【0083】

[実施例3]

つぎに上記、第3の実施形態に相当する実施例を示す。

入射側及び出射側の光ファイバは、 $NA=0.1$ の単一モード光ファイバを使用する。分離すべき波長は、 $\lambda_1=1545\text{ nm}$ と $\lambda_2=1555\text{ nm}$ （平均波長 $\lambda_0=1550\text{ nm}$ ）とし、 $\Delta\phi=0.6^\circ$ とする。

光出射部は集光レンズを共通とし、光ファイバは間隔 $s=125\text{ }\mu\text{m}$ で密着して並べた。

【0084】

この場合、レンズの焦点距離 f は、

$$f=s/\Delta\phi=11.94\text{ mm}$$

であることが必要とされる。レンズの有効径 d の最小値は、

$$9\lambda_0/(\pi\Delta\phi)=0.424\text{ mm}$$

$$3f\cdot NA=3.58\text{ mm}$$

の大きい方にとって、 3.58 mm 以上が必要である。

【0085】

回折格子の最低限必要な大きさは、入射角 $\phi=45^\circ$ として

$$\cdot \text{溝と垂直な方向: } 3.58/\cos\phi=5.06\text{ mm}$$

$$\cdot \text{溝と平行な方向: } 3.58\text{ mm}$$

である。

【0086】

以上より、 $f=12\text{ mm}$ 、 $d=3.6\text{ mm}$ のレンズを採用し、例えば16チャネルの分波装置が構成できる。回折格子の大きさは $6\times 4\text{ mm}$ である。

【0087】

【発明の効果】

本発明によれば、複数波長の光を回折格子を用いて分光する分光装置を小型化することができ、かつ高い効率で偏光依存の少ない波長分離を可能とすることができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図 1】 本発明の分光装置の基本構成を示す模式図である。
- 【図 2】 基本構成の一部を拡大した模式図である。
- 【図 3】 本発明の分光装置の他の構成を示す模式図である。
- 【図 4】 深溝型回折格子を示す図である。
- 【図 5】 深溝型回折格子の回折効率を示す図である。
- 【図 6】 深溝型回折格子の偏光依存損失を示す図である。
- 【図 7】 2次元フォトリソ結晶回折格子を示す図である。
- 【図 8】 深溝型回折格子の作製手法を示す図である。
- 【図 9】 実施例に使用された深溝形回折格子の断面形状写真である。
- 【図 10】 本発明の実施例である分光モジュールの構造図である。
- 【図 11】 従来の (a) 透過型、(b) 反射型ブレイズ回折格子を示す図である。

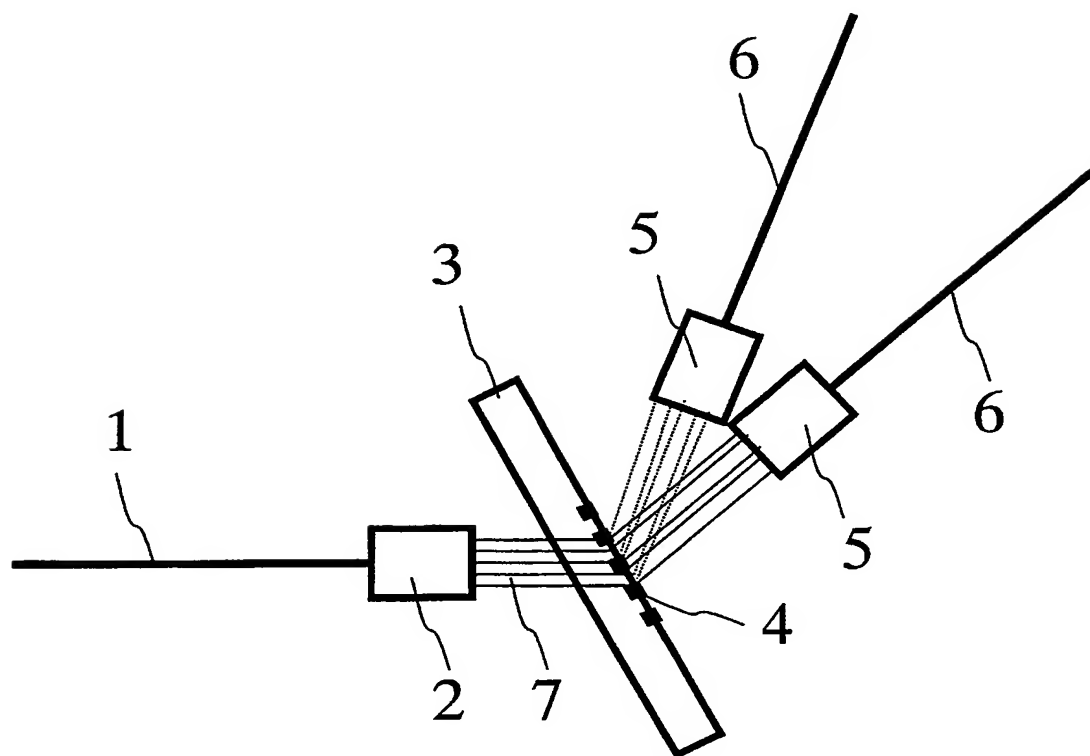
【符号の説明】

- 1、21 入射側光ファイバ
- 2、22 コリメータとレンズ
- 3 回折格子の基板
- 4、24 回折格子
- 5、15、25 集光レンズ
- 6、16、26 出射側光ファイバ
- 7 光束
- 8 複数波長を含む入射光
- 9、10 回折光
- 11 深溝型回折格子
- 12 フォトリソ
- 13 基板

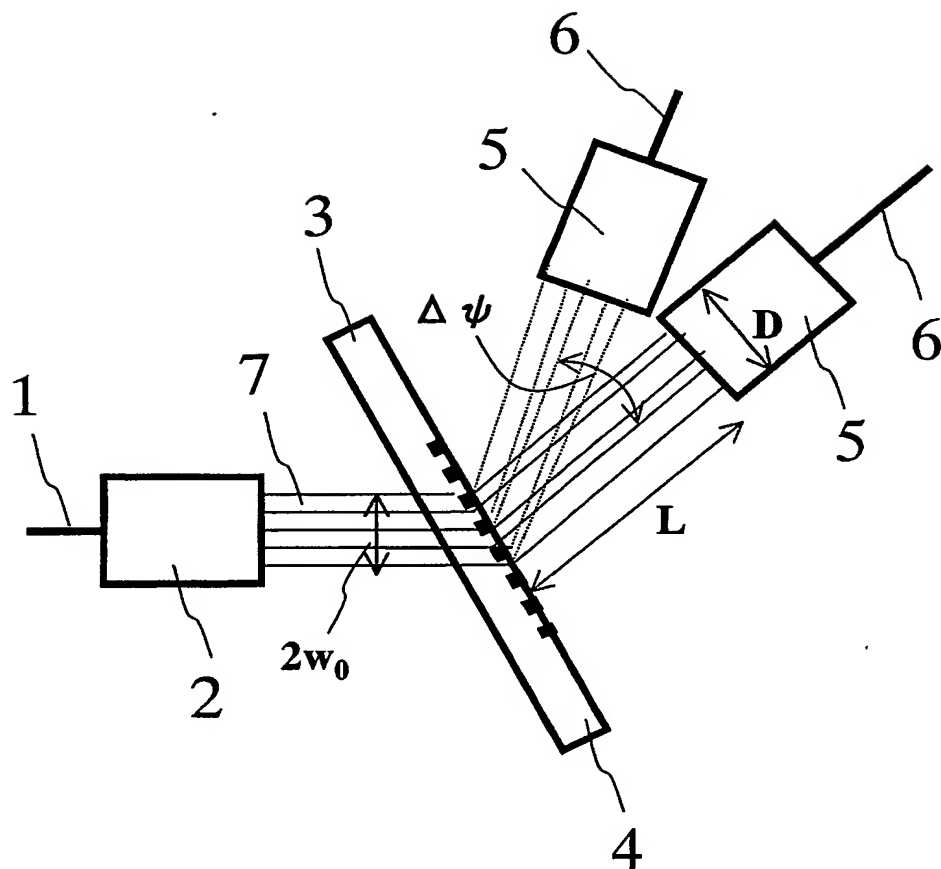
- 1 4 金属膜
- 1 7 垂直深溝
- 1 8 多層膜
- 1 9 筐体

【書類名】 図面

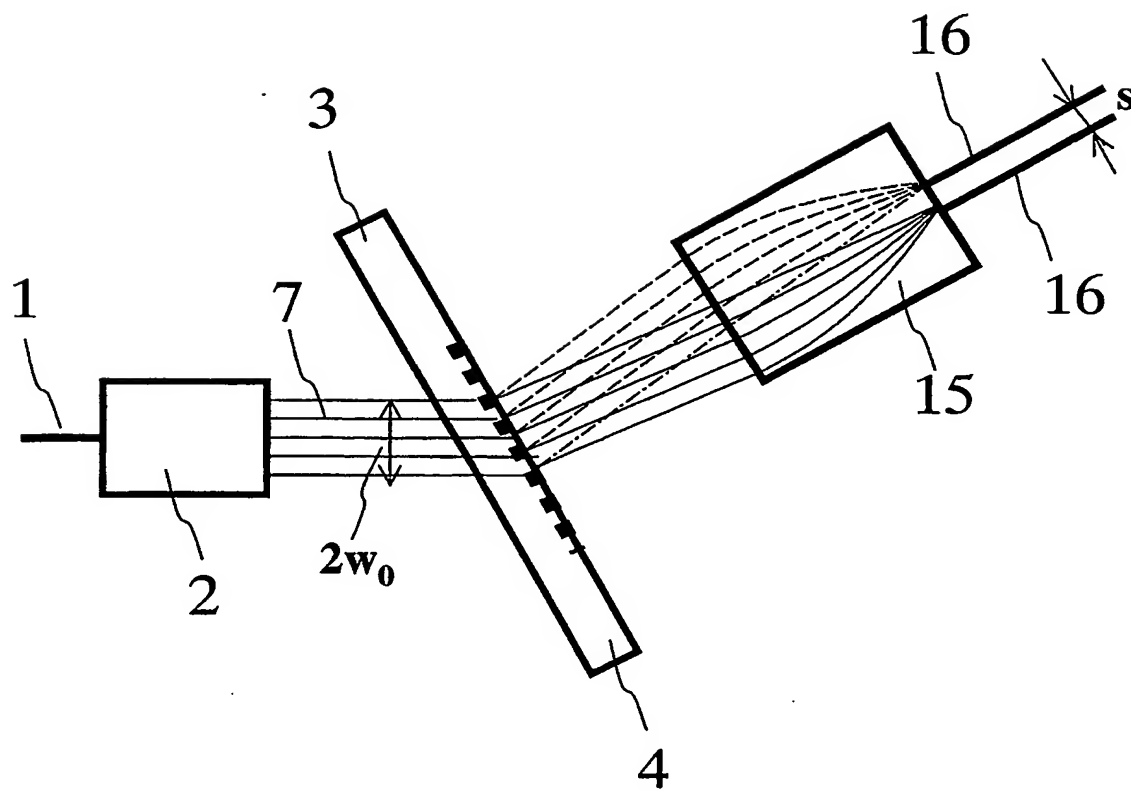
【図 1】



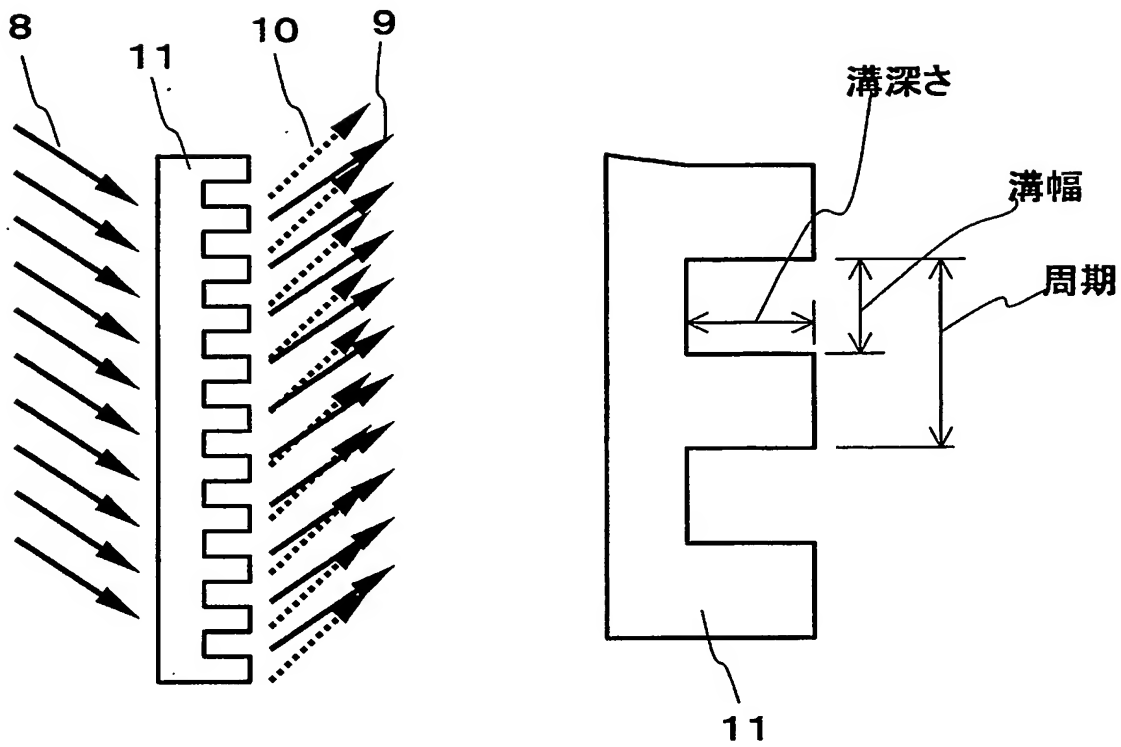
【図 2】



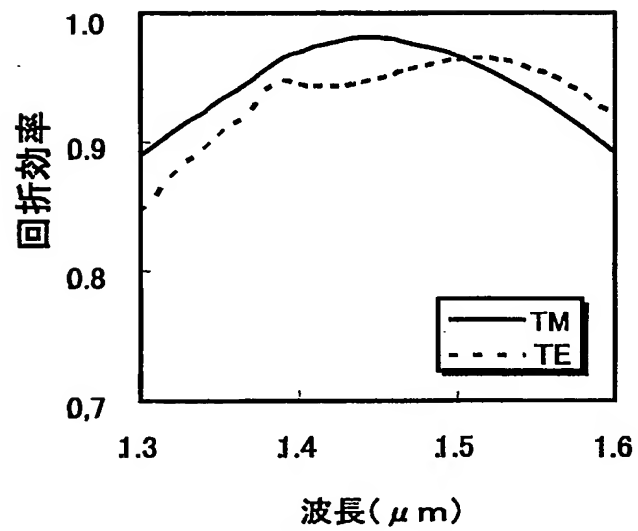
【図 3】



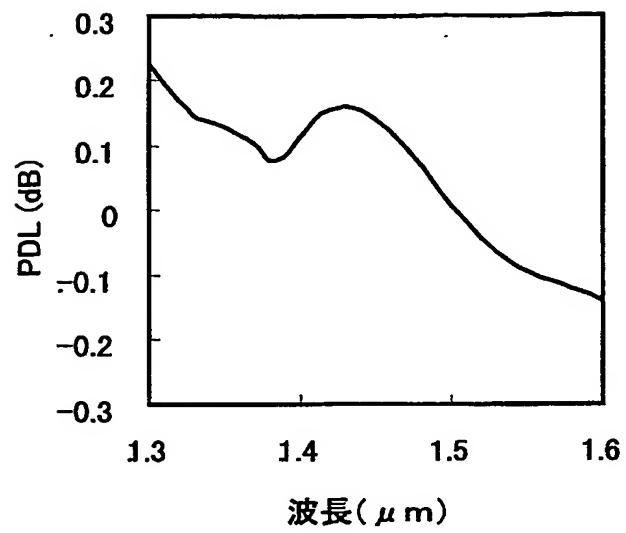
【図 4】



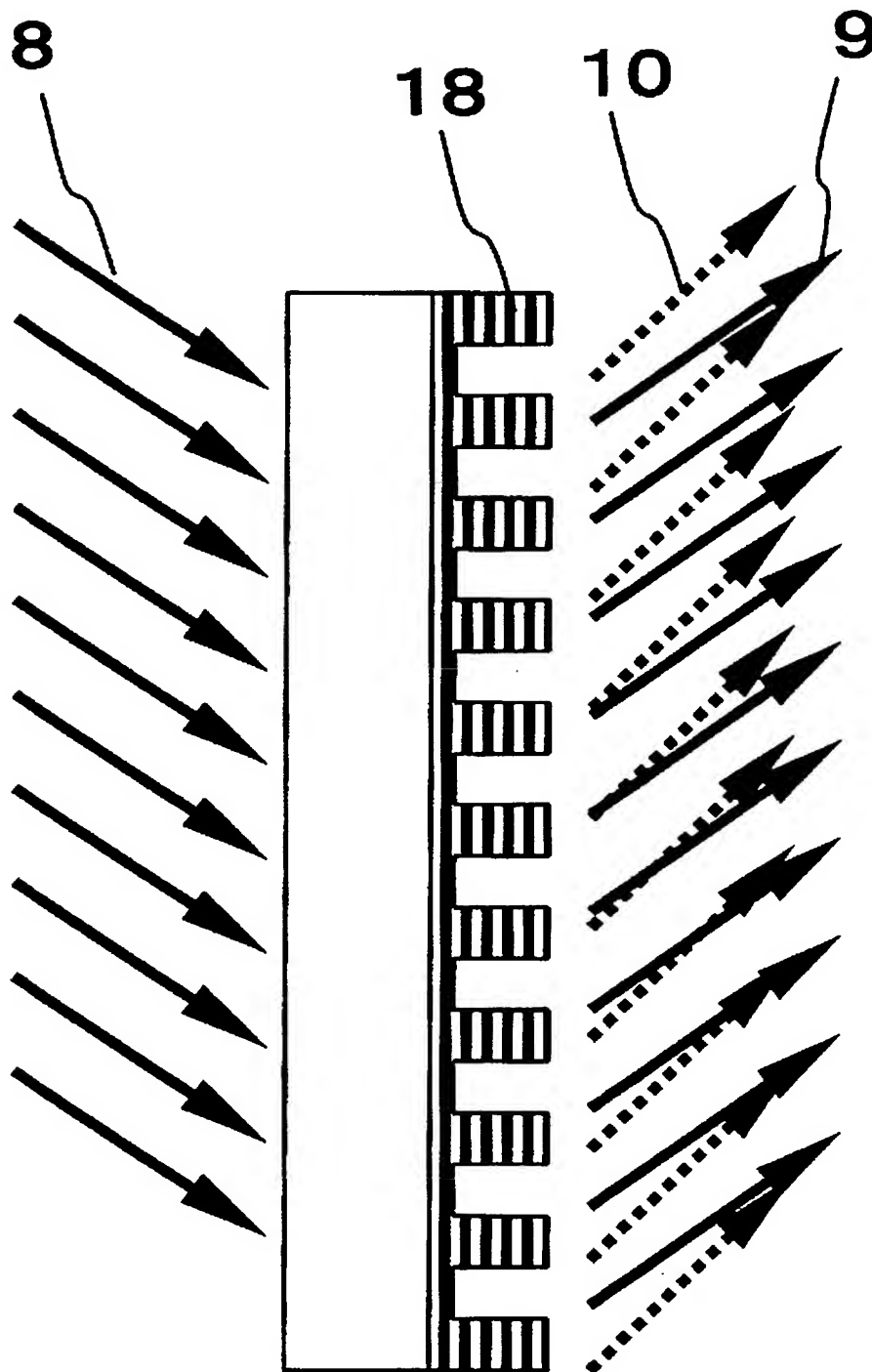
【図 5】



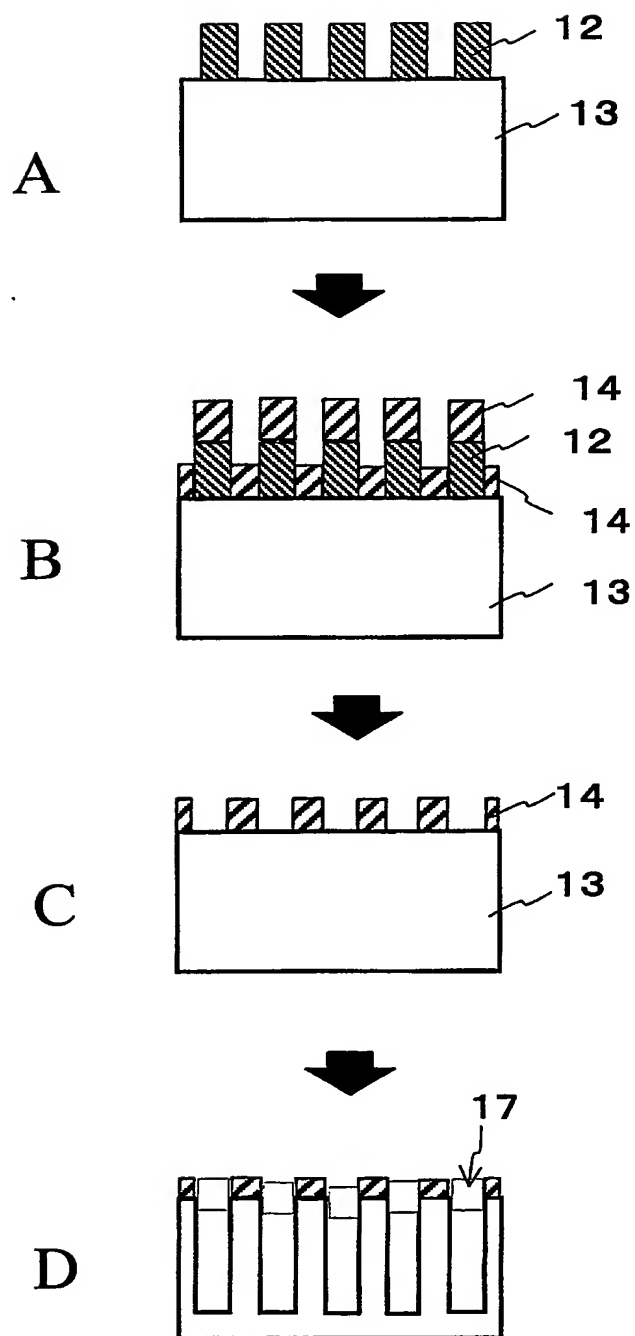
【図 6】



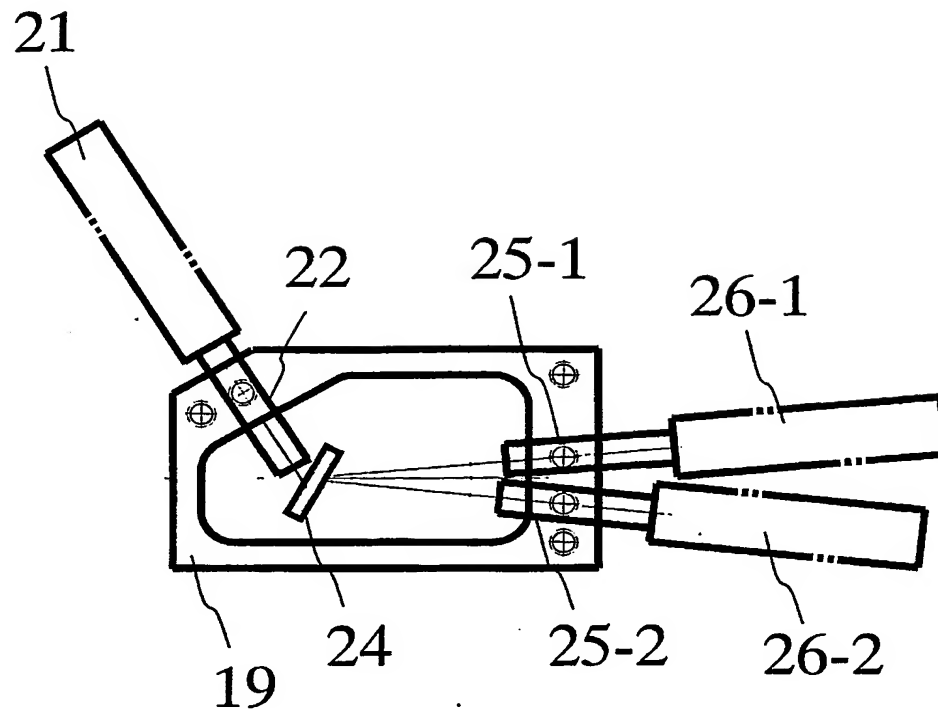
【図 7】



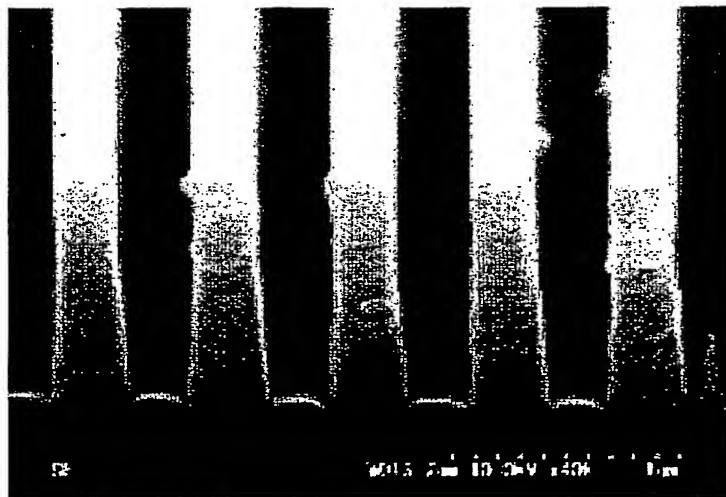
【図 8】



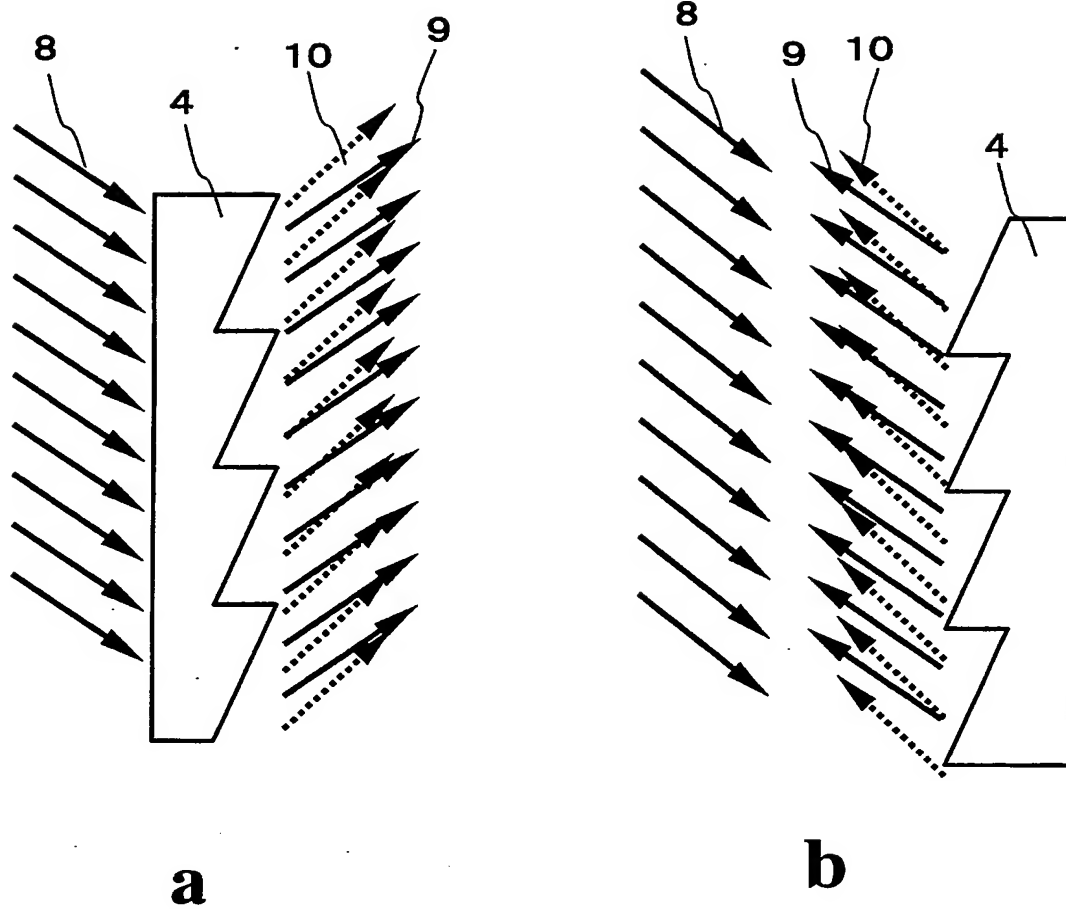
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 回折格子を用いた分光装置において、波長分解力が高く、且つ小型化が可能な分光装置を提供する。またこのような分光装置に適用でき、且つ製作が容易な回折格子を提供する。

【解決手段】 本発明の回折格子を用いた分光装置は、光ファイバ 21 から出射される複数の波長成分含む光線をコリメートレンズ 22 によって平行光束に変換する光入射部分と、その平行光束が入射する回折格子 24 と、この回折格子 24 により波長ごとに分光された平行光束を複数の集光レンズ 25 または共通の集光レンズによって集光する光出射部分と、から構成される。回折格子には深溝型回折格子を使用する。

【選択図】 図 9

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-275218
受付番号	50201413609
書類名	特許願
担当官	小松 清 1905
作成日	平成14年12月12日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年 9月20日

次頁無

特願 2 0 0 2 - 2 7 5 2 1 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 0 0 8]

1. 変更年月日

2 0 0 0 年 1 2 月 1 4 日

[変更理由]

住所変更

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 7 番 2 8 号

氏 名

日本板硝子株式会社

特願 2 0 0 2 - 2 7 5 2 1 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 0 1 0 2 1 5 3 3]

1. 変更年月日

2 0 0 1 年 4 月 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関 1 - 3 - 1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所